

Teoria per il dimensionamento degli scambiatori di calore a piastre

Indice

INDICE.....	2
INTRODUZIONE.....	3
FUNZIONAMENTO DI UNO SCAMBIATORE DI CALORE A PIASTRE.....	4
CALCOLO TERMICO.....	6
PERDITE DI CARICO.....	11
VANTAGGI DI UNO SCAMBIATORE A PIASTRE GUARNIZIONATO	13

Introduzione



Lo scambiatore di calore a piastre è un elemento modulare, costituito da un pacco di piastre corrugate che consentono ai fluidi primario e secondario di scambiare il calore tra loro, contenuto in un telaio costituito da due piastroni tenuti insieme da un certo numero di tiranti.

Questi sono classificati come scambiatori a superficie, in quanto i due fluidi di lavoro sono separati da una superficie fisica e non si mescolano.

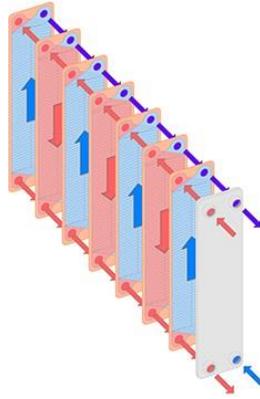
A seconda della direzione in cui fluiscono le due correnti, si parla di scambiatori equicorrente o controcorrente; negli scambiatori di calore controcorrente la differenza di temperatura fra i fluidi, insieme al flusso termico scambiato, si mantiene pressoché costante lungo tutta la lunghezza della piastra. Questo comporta un suo migliore sfruttamento e minori shock termici per i materiali.

Sono inoltre possibili configurazioni in parallelo o a flussi incrociati, quest'ultimi ormai considerati obsoleti e di minore praticità.

Oltre alla versione ispezionabile guarnizionata, esiste anche la versione saldobrasata di tali scambiatori in cui non si hanno più piastroni di contenimento, tiranti e guarnizioni, ma le piastre vengono saldobrasate in forno a temperature dell'ordine di 1000 °C.

Questi tipi di scambiatori consentono applicazioni a temperature e pressioni superiori rispetto ai corrispettivi ispezionabili, oltre ad essere ancor più compatti e leggeri, ma la giunzione permanente del pacco piastre va a togliere uno dei principali vantaggi che hanno gli scambiatori di calore a piastre: cioè la possibilità di manutenzione e pulizia del pacco piastre, oltre alla flessibilità in quanto il numero di piastre può essere sempre variato a seconda della necessità di processo.

Funzionamento di uno scambiatore di calore a piastre



In uno scambiatore di calore a piastre lo scambio di energia termica tra due fluidi a diverse temperature avviene mediante la sottile parete metallica (piastra) che li separa. Due piastre adiacenti costituiscono il canale in cui scorre il fluido; quello caldo percorre lo scambiatore a canali alterni rispetto al fluido freddo in modo tale che la piastra sia sempre a contatto con entrambi i fluidi. Questa disposizione dei passaggi all'interno dello scambiatore è denominata in parallelo ed è considerata la soluzione standard.

Fondamentali per indirizzare i fluidi di lavoro e per formare le intercapedini fra le piastre adiacenti sono le guarnizioni, le quali vanno alloggiare in un'apposita sede ricavata lungo i margini della piastra e intorno ai fori. Infatti ogni piastra di scambio è munita di quattro fori (due di alimentazione e due di scarico) e sarà poi il corretto montaggio della guarnizione ad indirizzare alternativamente il fluido primario e quello secondario nei canali formati dalle piastre ed a creare i canali del circuito primario e secondario.

Inoltre le piastre di scambio sono corrugate dotate di una imbutitura a forma di spina di pesce o altri motivi complessi al fine di aumentarne la superficie di scambio termico e generare una maggiore turbolenza all'interno del canale, oltre a conferire alla piastra una maggiore rigidità. Le piastre di scambio possono essere di vari spessori (solitamente inferiori al millimetro) e dimensioni, oltre che di materiali (acciai inox AISI304, AISI316, titanio, Hastelloy, SM0254, ecc.).

Infatti, la principale caratteristica che contraddistingue lo scambiatore di calore a piastre è il fatto di ottenere un moto turbolento all'interno dei suoi circuiti anche per velocità basse dei fluidi all'interno dei canali, con lo scopo di massimizzare il coefficiente di scambio termico K . Tale parametro misura la facilità con cui avviene il trasferimento del calore attraverso una serie di resistenze termiche (barriere attraverso le quali lo scambio termico avviene).

Questa massimizzazione comporta una perdita di carico all'interno del pacco piastre, che sarà tanto più elevata quanto più elevato sarà il grado di turbolenza del fluido. La perdita di carico è quindi un indice del grado di turbolenza ottenuto. La portata complessiva che entra nello scambiatore viene suddivisa all'interno di tutti i canali del circuito generando una perdita di carico in funzione della velocità del fluido. Aumentando il numero delle piastre dello scambiatore la stessa portata viene divisa in un numero maggiore di canali con conseguente diminuzione della velocità all'interno di essi e di conseguenza con diminuzione delle perdite di carico. Per questo motivo è importante notare come una caduta di pressione più elevata comporti una minore superficie di scambio termico necessaria.

Il trasferimento di energia si realizza in tre modi:

- **conduzione:** quando il trasferimento di calore, prodotto dal gradiente di temperatura, avviene in un corpo solido oppure in un fluido in quiete;
- **convezione:** si tratta invece del trasferimento di calore che avviene tra una superficie ed un fluido in movimento dotati di temperature diverse;
- **irraggiamento:** in questo caso il calore viene trasmesso sotto forma di onde elettromagnetiche tra corpi (solidi, liquidi o gassosi) ad una data temperatura, anche in assenza di un mezzo di propagazione.

Quasi sempre queste forme di trasmissione coesistono. Nel caso specifico dello scambiatore di calore a piastre l'energia si trasmette principalmente per convezione e conduzione, mentre trascurabile è l'effetto dell'irraggiamento.

Calcolo termico

Il dimensionamento dello scambiatore a piastre, data la modularità della sua natura, è un processo iterativo che, mediante l'applicazione dei principi fisici che saranno descritti in seguito, deve individuare la migliore soluzione tecnica riguardo ai seguenti dati:

1. Scambio termico di una data potenzialità, con temperature di ingresso e di uscita dei fluidi primario e secondario note, e portate congruenti a tali dati.
2. Calcolo delle perdite di carico e contenimento di esse entro un valore massimo di progetto, normalmente identificato dal sistema di pompaggio esistente o previsto per l'applicazione dello scambiatore.

La soluzione a questi problemi è rappresentata da un compromesso che ottimizzi da una parte la superficie di scambio termico e la relativa forma delle piastre, e dall'altra sfrutti al massimo le perdite di carico date disponibili per lo scambiatore.

La necessità di combinare un certo numero di modelli, con piastre di tipo diverso per ciascun modello, ed infine un numero variabile di piastre sul telaio di uno stesso modello fa sì che il procedimento di dimensionamento dello scambiatore debba essere necessariamente di tipo iterativo, e quindi la realizzazione di un software di calcolo si rende necessaria per questo scopo.

Il calcolo termico è basato sulle seguenti formule:

$$Q = K \cdot S \cdot \Delta t_{ml} \quad (1)$$

ove:

Q = calore scambiato

K = coefficiente globale di scambio termico

S = superficie di scambio

Δt_{ml} = delta t medio logaritmico .

Per ciascun circuito dovrà valere la seguente formula:

$$Q = c \cdot G \cdot \Delta t \quad (2)$$

ove:

Q = calore scambiato

c = calore specifico

G = portata massica

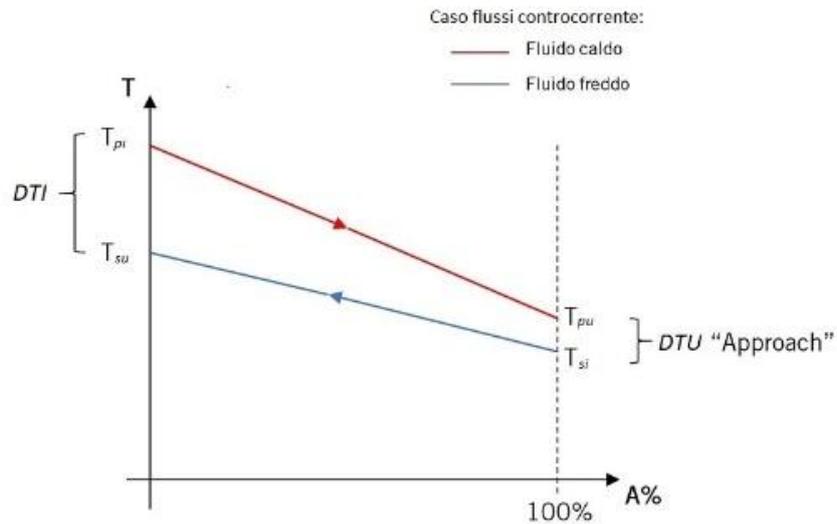
Δt = delta t del circuito .

Ponendo:

$$DTI = t_{pi} - t_{su}$$

$$DTU = t_{pu} - t_{si}$$

$$\Delta t_{ml} = \frac{DTI - DTU}{\ln \left(\frac{DTI}{DTU} \right)} \quad (3)$$



ove:

t_{pi} = temperatura di ingresso del circuito primario

t_{pu} = temperatura di uscita del circuito primario

t_{si} = temperatura di ingresso del circuito secondario

t_{su} = temperatura di uscita del circuito secondario .

Questa è la formulazione del Delta t medio logaritmico. Il calore ottenuto con la (1) e con la (2) è lo stesso e quindi ne possiamo imporre l'uguaglianza.

$$K \cdot S \cdot \Delta t_{ml} = c \cdot G \cdot \Delta t$$

da cui si ricava:

$$\frac{K \cdot S}{c \cdot G} = \frac{\Delta t}{\Delta t_{ml}} \quad (4)$$

Si definisce:

$$NTUs = \frac{K \cdot S}{c \cdot G}$$

$$NTUp = \frac{\Delta t}{\Delta t_{ml}}$$

ove:

$NTUs$ = lunghezza termica della piastra dello scambiatore

$NTUp$ = lunghezza termica del processo termico .

La definizione del coefficiente globale di scambio termico è:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{s}{\lambda} + f} \quad (5)$$

ove:

K = coefficiente globale di scambio termico
 α_1 = coefficiente di convezione del circuito primario
 α_2 = coefficiente di convezione del circuito secondario
 s = spessore della superficie di scambio
 λ = conducibilità termica della superficie di scambio
 f = fattore di sporramento (fouling) .

I coefficienti di convezione sono calcolabili da:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_f}{D_e} \quad (6)$$

ove:

Nu = Numero di Nusselt
 λ_f = Conducibilità termica del fluido
 D_e = Diametro equivalente della sezione di passaggio del fluido .

Il diametro equivalente è definito come:

$$D_e = \frac{4 \cdot S}{P} \quad (7)$$

ove:

S = sezione del canale
 P = perimetro bagnato .

Il numero di Nusselt è adimensionale e si ottiene da:

$$Nu = B \cdot Re^\beta \cdot Pr^\gamma \cdot W^\theta \quad (8)$$

ove:

Re = Numero di Reynolds
 Pr = Numero di Prandtl
 W = rapporto tra viscosità media e quella di parete
 B, β, γ, θ = parametri semiempirici .

I valori dei parametri semiempirici sono riassumibili nei seguenti range:

Parametro	Valore Minimo	Valore Massimo
B	0.10	0.85
β	0.20	2.70
γ	0.29	0.41
θ	0.14	

Il numero di Reynolds è adimensionale e si ottiene da:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_e}{\mu} \quad (9)$$

ove:

ρ = densità del fluido

v = velocità del fluido

D_e = Diametro equivalente della sezione di passaggio del fluido

μ = viscosità media del fluido .

Il numero di Prandtl è adimensionale e si ottiene da:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda_f} \quad (10)$$

ove:

μ = viscosità media del fluido

c = calore specifico del fluido

λ_f = Conducibilità termica del fluido .

La formula (8) è valida soltanto per il regime di moto turbolento. In caso di moto laminare la formulazione risulta essere:

$$Nu = B \cdot \left(\frac{Re \cdot Pr \cdot D_e}{L} \right)^\beta \cdot W^\gamma \quad (11)$$

ove:

Re = Numero di Reynolds

Pr = Numero di Prandtl

D_e = Diametro equivalente della sezione di passaggio del fluido

L = lunghezza del percorso tra ingresso e uscita

W = rapporto tra viscosità media e quella di parete

B, β, γ = parametri semiempirici .

I valori dei parametri semiempirici sono riassumibili nei seguenti range:

Parametro	Valore Minimo	Valore Massimo
B	1.2	4.5
β	0.25	0.41
γ	0.14	

Perdite di carico

In regime di moto turbolento, le perdite di carico nei canali dello scambiatore sono calcolabili con la seguente:

$$\Delta p = 4f \cdot \frac{\rho \cdot v^2 \cdot L}{2 \cdot D_e} \quad (12)$$

ove:

ρ = densità del fluido

v = velocità del fluido

D_e = Diametro equivalente della sezione di passaggio del fluido

L = lunghezza del percorso tra ingresso e uscita

f = friction factor .

Il friction factor è calcolabile con:

$$f = \frac{M}{Re^n} \quad (13)$$

ove:

Re = Numero di Reynolds

M, n = parametri semiempirici .

I valori dei parametri semiempirici sono riassumibili nei seguenti range:

Parametro	Valore Minimo	Valore Massimo
M	0.05	4.6
n	0.01	0.29

In caso di moto laminare la (12) diventa:

$$f = \frac{M}{Re} \quad (14)$$

ove:

Re = Numero di Reynolds

M = parametro semiempirico

con:

Parametro	Valore
M	35

Alla perdita di carico nei canali deve essere aggiunta quella nelle connessioni, ottenibile da:

$$\Delta p = \tau \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (15)$$

ove:

ρ = densità del fluido

v = velocità del fluido

τ = parametro semiempirico

con:

Parametro	Valore
τ	1

Vantaggi di uno scambiatore a piastre guarnizionato

I vantaggi dell'installazione di uno scambiatore a piastre ispezionabile, soprattutto grazie agli elevati coefficienti di scambio termico ottenibili, sono:

- dimensioni compatte ed ingombri ridotti;
- impiegabili anche quando la minima differenza di temperatura fra le due correnti è molto bassa (dell'ordine di 1 – 2 °C);

inoltre, altrettanto importanti sono:

- il facile e veloce smontaggio per le operazioni di pulizia e manutenzione;
- eventuali perdite di fluido dalle guarnizioni non vanno a contaminare l'altro fluido ma fluiscono verso l'esterno;
- la flessibilità e la possibilità di variare la superficie di scambio in base alle condizioni di impiego;
- possibilità di un'ampia scelta di materiali per adattarsi ai più diversi fluidi di lavoro.

Le guarnizioni, però, sono il “punto debole” degli scambiatori di calore a piastre ispezionabili: costituiscono il limite fisico alle condizioni di esercizio, in termini di pressione e temperatura; limiti di esercizio che comunque arrivano a temperature di 200 °C e pressioni di 25 bar, essendo le guarnizioni disponibili in vari tipi di mescole di gomma con diversi gradi di compatibilità con i fluidi di esercizio.